

Zeitschrift: Cartographica Helvetica : Fachzeitschrift für Kartengeschichte
Herausgeber: Arbeitsgruppe für Kartengeschichte ; Schweizerische Gesellschaft für Kartographie
Band: - (2017)
Heft: 54: Guillaume-Henri Dufour : Vermessung und Kartierung der Schweiz

Artikel: Die Triangulation primordiale und ihre französischen Vorbilder
Autor: Rickenbacher, Martin / Gubler, Erich
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-813938>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 29.11.2024

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

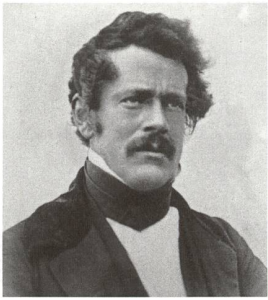


Abb. 11: Johannes Eschmann (1808–1852), Verfasser der *Ergebnisse der trigonometrischen Vermessungen in der Schweiz* von 1840 (swisstopo, Bildsammlung, Technische Aufnahme 5412).

Die *Triangulation primordiale* und ihre französischen Vorbilder

Martin Rickenbacher und Erich Gubler

Im Folgenden wird ein Aspekt der Arbeiten an der *Topographischen Karte der Schweiz* 1:100 000 (Dufourkarte) aus einer neuen Perspektive beleuchtet: Die Schaffung der geodätischen Grundlage, des geometrischen Rahmens sozusagen, in den sich das Kartenwerk einzufügen hatte. Zwar sind diese Arbeiten schon vielfach beschrieben worden,¹ aber es wird hier der Versuch gewagt, die seinerzeitigen Messungen mit modernen Methoden auszugleichen, um sie mit französischen Beobachtungen, die nur kurze Zeit zuvor entstanden sind und die als Vorbild für die schweizerischen dienten, zu vergleichen.

Viel Arbeit für den neuen Oberstquartiermeister...

Als Guillaume-Henri Dufour (1787–1875) am 20. September 1832 zum Oberstquartiermeister gewählt wurde, gehörte auch die Leitung der trigonometrischen Vermessungen der Schweiz zu seinen Aufgaben, wie ihm die Eidgenössische Militäraufsichtsbehörde am 3. November mitteilte. Dufour kannte den Umfang dieser Aufgabe damals noch nicht: «Man hat mir die Unterlagen zu den geodätischen Arbeiten noch nicht gesandt; ich habe überhaupt keine Vorstellung von dem, was fertig ist und was noch zu tun ist. Aber ich hoffe, dass die Arbeit genügend fortgeschritten ist, damit man ihr Ende absehen kann.»² Dufour hatte nach seiner Ausbildung an der Ecole polytechnique in Paris und an der Ecole d'application du génie in Metz bis 1817 mehrere Jahre französische Kriegsdienste geleistet. Es war ihm bewusst, welche Rolle die französischen Ingenieur-Geographen bei der Vermessung der Schweiz gespielt hatten: «Die französischen Ingenieure hatten an ihre grossen Dreiecksketten bereits das Observatorium von Bern und jenes von Genf angeschlossen. Man musste ihr Werk fortsetzen und es über die ganze Schweiz ausdehnen.»³

Seit der Grenzbesetzung von 1809 beschäftigten sich auch die Offiziere des eidgenössischen Oberstquartiermeisterstabs mit Vermessungen. Diese dehnten sich – ausgehend von der Ostschweiz – nach und nach auch auf andere Landesteile aus. Bis 1829 wurden diese Arbeiten durch Oberstquartiermeister Hans Conrad Finsler (1765–1839) geleitet. Neben den Militärs unternahmen auch Wissenschaftler trigonometrische Vermessungen, wie Professor Friedrich Trechsel (1776–1849) in Bern und Professor Daniel Huber (1768–1829) in Basel. Domherr Josef Anton Berchtold (1780–1859) in Sitten war daran, das Wallis zu vermessen. Doch bei all diesen regionalen Vermessungsprojekten fehlte ein zentrales Element, das diese verschiedenen Teile zu einem Ganzen zusammengefügt und mit einem übergeordneten Netz die Teile nördlich der Alpen mit den südlichen verbunden hätte. Nach der Über-

nahme der Verantwortung in Sachen Landesvermessung berief Dufour am 12. und 13. März 1833 fünf Experten zu einer Konferenz nach Bern ein, um die Lage zu besprechen und die weiteren Schritte festzulegen. Erstmals dabei war der junge Astronom Johannes Eschmann (1808–1852, **Abb. 11**).⁴

...und für den jungen Astronomen

Johannes Eschmann

Schon kurz nach dieser Konferenz bemühte sich Dufour, Eschmann für das eidgenössische Kartierungsprojekt zu gewinnen: «Ich schlage Ihnen mit diesem Schreiben offiziell vor, für die Triangulation der Schweiz angestellt zu werden. Wenn das Ihren Vorstellungen entspricht, bitte ich Sie, mich das schriftlich wissen zu lassen. In diesem Jahr hätten Sie im Frühjahr die Beobachtungen in den Kantonen Bern, Solothurn, Aargau und Basel vorzunehmen und, falls es die Saison erlaubt, jene in Graubünden.»⁵ Dies war der Beginn einer fruchtbaren Zusammenarbeit zwischen dem Genfer und dem jungen Zürcher, der sich rasch als «Geodäsiechef» des nationalen Kartenprojekts etablierte. Kurz zuvor war Eschmann Dozent für Astronomie an der soeben gegründeten Universität Zürich geworden, nachdem er in Paris und Wien studiert hatte.⁶

Der Anfang zur Schaffung eines nationalen geodätischen Rahmens verlief allerdings äusserst harzig. Dufour war nach der ersten Kampagne vom Sommer 1833 unter seiner Leitung ziemlich bedrückt, wie er an Ingenieur Antoine Joseph Buchwalder (1792–1883) schrieb: «Ich habe mich äusserst betreten gefühlt, ich gestehe es, als ich meinen Bericht verfassen musste, um über die Verwendung der ziemlich beträchtlichen Summen Rechenschaft abzulegen, die wir 1833 ausgegeben haben, ohne ein nennenswertes Resultat zu erzielen.»⁷

Doch dank beharrlicher Arbeit wendete sich das Blatt in den folgenden Jahren: 1834 wurden die Grundlinien im Sihlfeld bei Zürich und im Grossen Moos zwischen Walperswil und Sugiez gemessen,⁸ und 1835 wurde der Alpenübergang vollendet.⁹ Dazu hatten Buchwalder und andere Ingenieure schon wesentliche Vorarbeiten geleistet, vielfach unter harten und entbehrungsreichen Umständen (**Abb. 12**).¹⁰ Dufour stellte die bisherigen Messungen in einem grossen «Canevas trigonométrique» zusammen, der die Einbettung der schweizerischen Dreiecke in jene der Franzosen schön zum Ausdruck bringt (**Abb. 13**).

Ein Puzzle mit vielen Teilen:

Die *Triangulation primordiale*

Aus dem vorgängig bloss Skizzierten geht hervor, dass sich die *Triangulation primordiale*, welche den geodätischen Rahmen für die Dufourkarte bildet, aus verschiedenen Teilen zusammensetzt, die von verschiedenen Beobachtern zu verschiedenen Zeiten gemessen wurden. Auch wenn Dufour am liebsten



Abb. 12: Raphael Ritz (1829–1894): *Ingenieure im Gebirge*, 1881. Das Bild vermittelt einen Eindruck von der strapaziösen Triangulationsarbeit im Hochgebirge. Öl/Leinwand. Format: 82 x 65 cm (Kunsthaus Zürich, Inv.-Nr. 450).

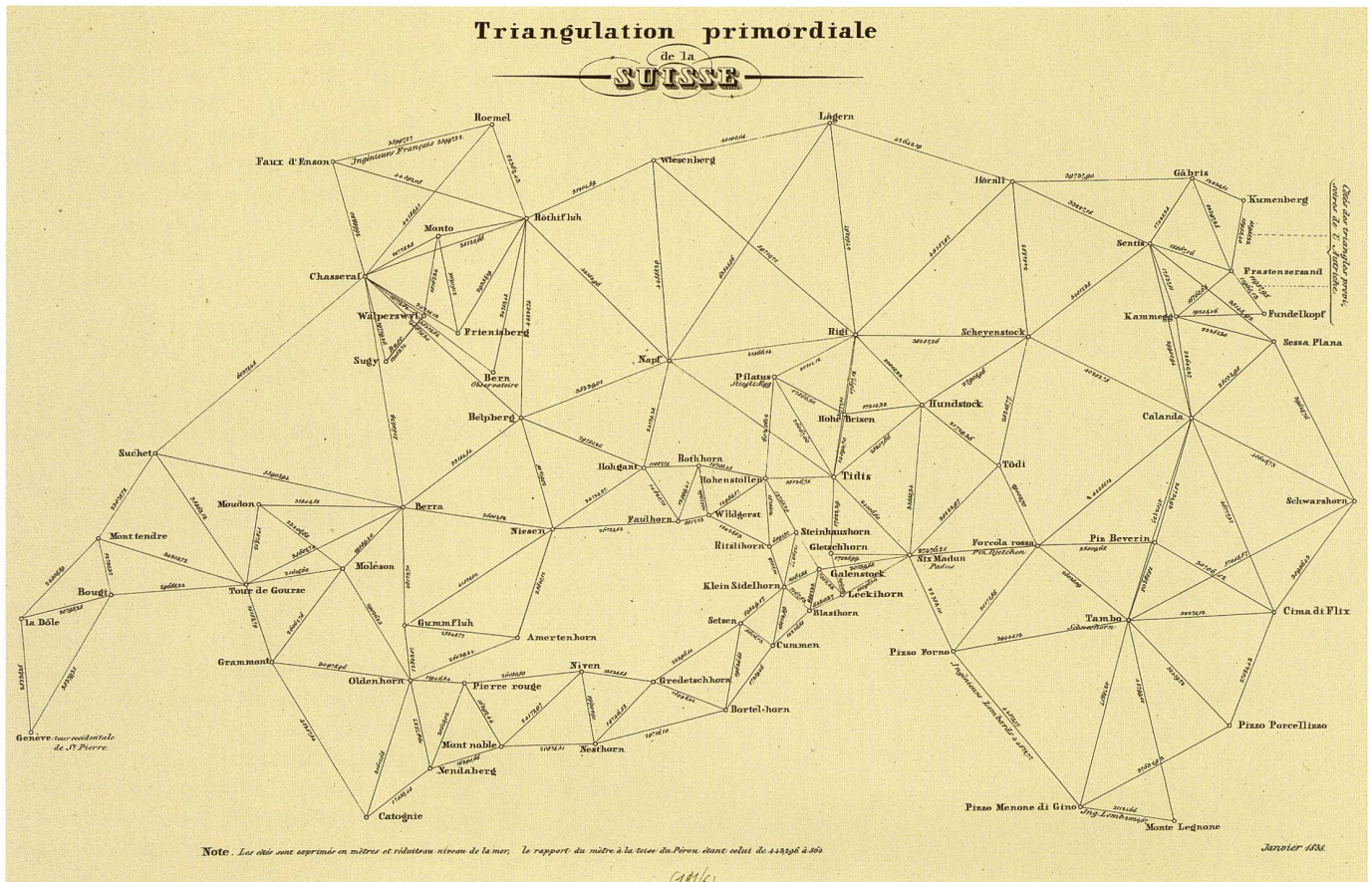
alles neu aufgebaut hätte – er stand bei Finsler im Ruf, «im Allgemeinen kein Freund von allem dem [zu sein], was er nicht selbst gemacht hat»¹¹ –, so sah er ein, dass es unmöglich war, innert nützlicher Frist ein solches Werk aufzubauen, ohne das Vorhandene auf angemessene Weise zu berücksichtigen. Ähnlich wie bei der Dufourkarte selbst handelte es sich bei der *Triangulation primordiale* somit um ein föderalistisches Werk, das auf den vorhandenen kantonalen Materialien aufbaute und sie für die Bedürfnisse der Eidgenossenschaft in eine einheitliche Form zu bringen suchte.

Dufour brachte die unbequeme Situation, welche die heterogene Datenlage mit sich brachte, gegenüber Eschmann auf den Punkt: «Ich verstehe die Schwierigkeiten sehr gut, die Sie beim Zusammenfügen von derart verschiedenen Materialien antreffen, welche in so unterschiedlichen Zeitabschnitten entstanden sind. Wir müssen das Beste daraus machen, um die Konsultation unserer geometrischen Beschreibung der Schweiz zu erleichtern.»¹² Eschmann schlug vor, den historischen Entstehungskontext der verschiedenen Quellen zu beschreiben, was Dufour aber relativierte: «Was den historischen Teil anbetrifft, tun Sie gut daran, von dem, was vor 1833 gemacht wurde, nur auf unbestimmte Weise zu sprechen, denn die Langsamkeit, mit der die Operationen vor diesem Zeitpunkt vorgenommen wurden, verschafft der Eidgenossenschaft nur wenig Ehre.»¹³ Vom Januar 1838 datiert ein lithographierter Netzplan der *Triangulation primordiale* (Abb. 14).¹⁴ Darin sind die Anschlüsse an die «Ingénieurs Français» und an die «Ingénieurs Lombards» sowie die «Côtés des triangles provisoires de l’Autriche» sowie ihre Differenzen zu den schweizerischen Werten angegeben. Gegenüber der Abb. 13 fokussiert sich diese Darstellung auf die Schweiz. Dies kann durchaus als Ausdruck für die Bestrebungen Dufours und Eschmanns angesehen werden, die «geodätische Selbstständigkeit» der werdenden Nation zum Ausdruck zu bringen.

Als Ursprung der *Triangulation primordiale* diente jenes behelfsmässige Observatorium in Form einer hölzernen Baracke, die 1812 von den französischen Ingenieur-Geographen zusammen mit Trechsel auf der Bastion Hohliebi der Grossen Schanze in Bern erbaut worden war. Neben der geographischen Länge – nota bene bezogen auf den Meridian von Paris – und der Breite diente das astronomisch beobachtete Azimut auf den Chasseral zur Lagerung und Orientierung des Netzes. Auch bei der Positionierung der Schweiz auf dem Globus spielten also die Franzosen damals eine führende Rolle (Abb. 15).¹⁵

Eschmanns *Ergebnisse der trigonometrischen Vermessungen in der Schweiz*

Ebenfalls im Januar 1838 spielte Eschmann gegenüber Dufour auf ein französisches Werk an, das sechs Jahre zuvor erschienen war: «Jedenfalls behaupte ich meine Berechnungen sorgfältig auf, im Hinblick auf die eventuelle Möglichkeit [der Publikation] einer geometrischen Beschreibung der Schweiz.»¹⁶ Ihm schwebte also die Publikation einer *Description géométrique de la Suisse* in Anlehnung an die *Nouvelle description géométrique de la France* vor.¹⁷ Diese Bezeichnung taucht auch in den anderen Briefen wiederholt auf. Die Militäraufsichtsbehörde akzeptierte Dufours Vorschlag, dieses Werk in deutscher Sprache zu publizieren. Eschmann wurde beauftragt, nach Konsultation der Druckereien in Zürich einen Kostenvoranschlag zu erstellen, den sein Chef via die Militäraufsichtsbehörde zu Händen der Tagsatzung einreichen wollte.¹⁸ Das Werk mit dem vollen Titel *Ergebnisse der trigonometrischen Vermessungen in der Schweiz. Nach Befehl der Hohen Tagsatzung aus den Protokollen der eidgenössischen Triangulierung bearbeitet von J. Eschmann, Oberlieutenant beim eidgenössischen Oberstquartiermeisterstab* wurde 1840 bei «Orell, Füssli und Compagnie» in Zürich gedruckt. Es ist er-



Rezensionen der *Ergebnisse*

Bereits im Erscheinungsjahr wurden die *Ergebnisse* in der *Bibliothèque universelle de Genève* rezensiert.²⁶ Der Verfasser dieser Buchbeschreibung, Alfred Gautier (1793–1881), Professor für Astronomie und Höhere Mathematik an der Genfer Akademie und Leiter des dortigen Observatoriums, dürfte von Dufour speziell auf diese Neuerscheinung aufmerksam gemacht worden sein. Der Rezensent zeigte sich zunächst aus wissenschaftlicher Sicht sehr zufrieden: «Mit besonderer Genugtuung kündige ich diese neue Publikation an, von der ich soeben den Titel erwähnt habe, und welche die Grundlagen für eine geometrische Beschreibung der Schweiz umfasst: Denn diese Publikation scheint mir in wissenschaftlicher Hinsicht sehr ehrenwert für unser Vaterland zu sein; und es ist damit ein weiterer wichtiger Schritt zu jenem Ziel getan, welchem man sich schon seit einigen Jahren widmet, jenem nämlich, eine grosse topographische Karte zu erhalten, welche die Gesamtheit der Eidgenossenschaft umfasst.»²⁷ Am Schluss seiner Rezension betont Gautier die nationale Bedeutung des eidgenössischen Kartenprojekts: «Gelegenheiten dieser Art, welche die Regierungen und die Behörden der verschiedenen Teile der Schweiz dazu veranlassen, zu Unternehmungen von wahrhaftem öffentlichen Nutzen beizutragen, müssen die nationale Bindung zusammenschüren, sodass man immer mehr die Vorteile davon schätzt. Möge der alte und heilige Baum der Confoederation mit göttlichem Segen immer mehr

üppige Früchte von Wohlstand und moralischer und sozialer Verbesserung tragen! Das wäre die süsseste aller Belohnungen für jene, welche im Schutze seines Schattens in irgendwelcher Art zu seinen glücklichen Entwicklungen beigetragen haben werden.»²⁸ Eschmann dankte Dufour «infiniment» für die Zusendung von Gautiers Aufsatz, der aufgrund seines Umfangs vereinfacht als französische Version und Ergänzung der *Ergebnisse* betrachtet werden kann. «Seine Broschüre ist sehr interessant und enthält verschiedene Einzelheiten, welche mir nicht bekannt waren. Ich teile seine Meinung vollständig, dass es mit der Zeit wünschbar wäre, eine Ergänzung zu diesem Band betreffend die Sekundärtriangulation der Schweiz und der geographischen Lage der wichtigsten Städte zu machen.»²⁹ Dufours Anweisung, die historische Einleitung knapp zu halten, zeigte eine unangenehme Folge: Der französische Ingenieur-Geograph Joseph François Delcros (1777–1865), der zwischen 1803 und 1813 im «Bureau topographique français de l’Helvétie» mitgewirkt hatte, meinte zwar zu den *Ergebnissen*: «C’est un fort bon et fort beau travail.» Er beklagte sich aber bitter darüber, dass die Arbeiten von Napoleons Ingenieur-Geographen auf dem Gebiet der Schweiz mit keiner Silbe erwähnt worden waren. Es ist ein Mangel an Anstand und ein ärgerliches Versäumnis an Achtung, die sich die Männer schulden, deren ganzes Leben wissenschaftlichen Arbeiten gewidmet ist, unabhängig aller nationaler Rivalität bezüglich ihrer Art und ihr Ziel. Ich gestehe Ihnen in voller Offenheit, dass mich diese Ungerechtigkeit

Abb. 14: *Triangulation primordiale de la Suisse*, 1838: Lithographie von Schweizer und Grimminger in Zürich, Massstab ca. 1:625 000, Originalformat 48.3 x 32.4 cm. In diesem Netzplan werden die Anschlüsse an die «Ingénieurs Français» und an die «Ingénieurs Lombards» sowie die «Côtés des triangles provisoires de l’Autriche» sowie ihre Differenzen zu den schweizerischen Werten wiedergegeben. Gegenüber der Abb.13 fokussiert sich diese Darstellung auf die Schweiz, ein Ausdruck für die Bestrebungen Dufours und Eschmanns im Hinblick auf eine Art «geodätische Selbständigkeit» der zukünftigen Nation (swisstopo Geodäsie-Archiv, Netzplan 191/6).



Abb. 15: Als Ursprung der *Triangulation primordiale* diente das behelfsmässige Observatorium in Form einer hölzernen Baracke, die 1812 von den französischen Ingenieur-Geographen zusammen mit Johann Friedrich Trechsel auf der Bastion Hohliebi der Grossen Schanze in Bern erbaut worden war. Lithographie von Burgdorffer (Universitätsbibliothek Bern).

stark berührt hat. Es ist die erste dieser Art, die ich erlebe, und in jenem Teil Deutschlands, in dem ich gearbeitet habe, war man mehr als gerecht, was mich anbetrifft.»³⁰

Nüchtern fiel auch der erste Hinweis auf die *Ergebnisse* in der deutschschweizerischen Fachliteratur aus. «Für den Freund der Länderkunde sind das Verzeichniss der geographischen Oerter sämtlicher Vermessungspunkte, die astronomischen Beobachtungen und die Höhenbestimmungen der interessanteste Theil des Buches, das noch mehr Werth haben würde, wenn nicht eine Menge von Druckfehlern sich eingeschlichen hätte, die man umsonst am Schlusse des Werkes verbessert sucht.»³¹ Schon drei Jahre nach dem Erscheinen der *Ergebnisse* war also erkannt worden, dass das Werk nicht fehlerfrei war. In den Akten des «Bureau topographique fédéral» befindet sich denn auch ein Dossier mit «Correcturen zu Eschmanns Ergebnissen», verfasst von Ingenieur Adolphe-Marie-François Bétemps (1813–1888).³² Diese «Correcturen» wurden allerdings nicht publiziert. Auch Rudolf Wolf hat sie in der *Geschichte der Vermessungen in der Schweiz* rund vier Jahrzehnte später nicht erwähnt: «Das ganze Werk ist so reich an Thatsachen, Rechnungsergebnissen und einschlagenden Untersuchungen und Bemerkungen, dass es für alle Zeiten von Werth bleiben und ein höchst ehrenvolles Denkmal für [einen] Verfasser bilden wird, der sich dadurch, auch abgesehen davon dass ein grosser Theil der Arbeit auf eigenen Erhebungen beruht, für welche er wiederholt Gesundheit und Leben in die Schanze schlug, entschie-

den um s[ein] Vaterland und die Wissenschaft verdient gemacht hat.»³³ Nochmals runde sieben Jahrzehnte später schloss sich Hans Zölly im Grundsatz Wolfs Urteil an, ergänzte aber in einer Fussnote: «Es ist hier leider aufmerksam zu machen, daß das Werk außerordentlich viele Druckfehler aufweist; vor Verwendung des Werkes sollte das Korrektur-Exemplar der Eidg. Landestopographie konsultiert werden.»³⁴

Die Neuberechnung der *Triangulation primordiale*

Aufgrund dieser Ausgangslage schien es angezeigt, Eschmanns *Ergebnisse* mit neuen Methoden gründlich zu analysieren. Seither haben sich die Rechenverfahren fundamental verändert: War es damals erst möglich, ein Dreieck nach dem anderen zu berechnen und das ganze Netz durch möglichst geschicktes Aneinanderfügen solcher Dreiecksketten abzuarbeiten, so erlauben die computerbasierten modernen Ausgleichsprogramme wie beispielsweise LTOP³⁵ eine Gesamtausgleichung des Netzes in einem Guss.

In einem ersten Schritt wurden in den *Ergebnissen* die «Beob. Winkel» des «Dreiecksnetz der ersten Ordnung» erfasst (**Abb. 16**).³⁶ Das erste Dreieck ist so zu interpretieren, dass auf dem Punkt Walperswyl zwischen dem linken Zielpunkt Sugy und dem rechten Zielpunkt Chasseral ein Winkel von $85^{\circ} 46' 21,2''$ gemessen wurde, auf dem Stationspunkt Sugy zwischen links Chasseral und rechts Walperswyl ein solcher von $52^{\circ} 54' 51,2''$, und schliesslich auf dem Punkt Chasseral zwischen links Walperswyl und rechts Sugy ein solcher von $41^{\circ} 18' 48,8''$. Alle anderen Angaben wie der Sphärische Exzess,³⁷ die Logarithmen und die Seitenlängen in Metern waren seinerzeitige Zwischenergebnisse und mussten nicht erfasst werden.³⁸ Aus dieser ersten Erfassungsstufe musste in einem nächsten Schritt die Messdatei im LTOP-Eingabeformat abgeleitet werden.³⁹

Auf diese Weise wurden insgesamt 126 Dreiecke erfasst.⁴⁰ 32 davon enthalten einen Winkel, der mit «(g)» für «gerechnet» bezeichnet ist, welcher also aus den beiden anderen Winkeln und dem sphärischen Exzess berechnet wurde.⁴¹ Verschiedentlich wurde ein Dreieckswinkel auch aus der Summe oder Differenz von zwei bis drei beobachteten Winkeln errechnet, in ganz wenigen Fällen sogar trigonometrisch aus einem Winkel und zwei bereits bekannten Seitenlängen. Solche Winkel können natürlich nicht als unabhängige Beobachtungen gelten; die trigonometrisch berechneten wurden eliminiert, sodass die Messdatei schliesslich insgesamt 341 Winkel bzw. Richtungssätze zu zwei Richtungen umfasst.

Die Elimination trigonometrisch berechneter Winkel zeigt sich denn auch deutlich im neuen Netzplan (**Abb. 22**), der nur die tatsächlich verwendbaren Beobachtungen enthält. Einseitige Messungen sind gegen den Zielpunkt gestrichelt dargestellt. Allerdings erscheinen auch so immer noch einige Winkel als gemessen, weil der benachbarte Winkel diesen

Zielpunkt enthält. Viel deutlicher als in den zeitgenössischen Netzplänen Eschmanns (Abb. 14 und 17) sieht man, dass die Koordinaten einiger Punkte nur schlecht oder gar nicht kontrolliert sind. Dies zeigt sich vor allem bei den Punkten Tödi und Genève, welche nur durch einfache Vorwärtseinschnitte bestimmt sind.

Die Dreiecksschlüsse beziehungsweise ihre Abweichung vom Sollwert 180° bilden ein erstes Kriterium für die Qualität der Messungen. 19 davon weichen mehr als $5''$ oder $15''$ von ihrem Sollwert ab. Fast alle treten im Bereich der Alpen auf und sind wohl auf die erschwerten Bedingungen, Unstimmigkeiten in den Punktdefinitionen oder fehlerhafte Zentrierungen zurückzuführen. Die mit Abstand grösste Abweichung tritt im Dreieck Berra-Niesen-Gumfluh mit $-34.4''$ oder $106''$ auf (vgl. Tab. 1). Die andern sind höchstens halb so gross. Eine robuste Ausgleichung zeigt, dass der Winkel auf der Station Niesen mit den Visuren nach Gumfluh und Berra fehlerhaft sein muss.⁴² Aus dem Verzeichnis der beobachteten Winkel geht hervor, dass dieser Winkel gar nicht direkt gemessen, sondern aus der Summe zweier gemessener Winkel durch Subtraktion eines dritten Winkels errechnet wurde,⁴³ was wenigstens zum Teil die geringere Genauigkeit erklärt. Sämtliche an dieser fragwürdigen Operation beteiligten Messungen stammen von Ingenieur Johann Jakob Frey (1783–1849) aus Knonau, der seit 1809 an der Triangulation des Kantons Bern unter Professor Trechsel mitgearbeitet hatte. Allerdings verwendete er dabei einen ungeeigneten Theodolit von Schenk mit einem Teilkreis, der einen Durchmesser von lediglich 7 Zoll (178 mm) aufwies. Auch die Winkel auf den anderen beiden Stationen stammen aus der gleichen Zeit und sind von Frey mit dem gleichen Theodolit gemessen worden. Als dieser Ingenieur im Juli 1833 um eine Anstellung im Rahmen des eidgenössischen Kartierungsprojekts ersuchte, empfahl Finsler, nicht darauf einzutreten. Es hatte sich nämlich gezeigt, dass Freys Triangulation des Oberamtes Bern von der Regierung als ungenau zurückgewiesen und er entlassen worden war, weil er mit viel zu grosser «Leichtigkeit» gearbeitet hatte und durch eine grosse Zahl gemessener Winkel imponieren wollen.⁴⁴

Auch nach dieser Gesamtausgleichung weist die *Triangulation primordiale* noch einige gravierende Zwänge auf. Auch mit mehreren robusten Ausgleichungen gelang es nicht, diese zu lokalisieren und zu beheben. Weil Eschmann das Material aus sehr heterogenen Quellen kompilieren musste, hätte die Suche nach allen Originalprotokollen eine Riesenarbeit bedeutet, die nicht zu verantworten war. Auch konnte das hinter den gedruckten *Ergebnissen* liegende Original-Manuskript Eschmanns weder im Bundesarchiv noch im Verlagsarchiv von Orell Füssli aufgefunden werden.⁴⁵

Wenn man die von Eschmann berechneten Koordinaten der Punkte mit jenen vergleicht, die anhand einer Gesamtausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate mit der seinerzeitigen Original-Lagerung berechnet wurden, so liegen die Koordinatendifferenzen bei den meisten Punkten unter

N°	Winkelpunkte.	Beob. Winkel.	Sphär.	Log. der Sinus.	Log. der Seiten.	Seiten in Metern.
1.	Walperswyl	85° 46' 21,2	20,9	9,9988167	4,2948906	19719,26
	Sugy	52 54 51,2	51,0	9,9018576	4,1979312	15773,62
	Chasseral	41 18 48,8	48,6	9,8196615	4,1157350	13053,74
	Sphärischer Excess	180 0 1,2	0,5			
	Summe der Fehler	+ 0,7				
2.	Walperswyl	66° 44' 59,7	61,2	9,9632179	4,2736550	18778,25
	Chasseral	62 44 7,2	8,6	9,9488544	4,2592914	18167,34
	Monto	50 30 49,5	50,9	9,8874944	4,1979312	15773,62
	Sphär. Exc.	179 59 56,4	0,7			
	Summe der Fehler	- 4,3				
3.	Chasseral	58° 44' 49,8	50,4	9,9319091	4,3347762	21616,05
	Monto	73 17 40,5	41,1	9,9812731	4,3841408	24218,13
	Frienisberg	47 57 28,9	29,5	9,8707880	4,2736550	18778,25
	Sphär. Exc.	179 59 59,2	1,0			
	Summe der Fehler	- 1,8				

10 m. Nur fünf Punkte in der von Domherr Berchtold im Wallis gemessenen Dreieckskette liegen über diesem Wert, am meisten der Punkt Blasihorn mit 21.5 m. Im Massstab der Dufourkarte entspricht dies einer Abweichung von zwei Zehntelmillimetern. Weil die benachbarten Punkte ähnliche Abweichungen aufweisen, ist die Nachbargenauigkeit sogar noch deutlich besser.

Das französische Vorbild: Puissants

Nouvelle description géométrique de la France

Im gleichen Jahr 1832, in dem Dufour als neu gewählter Oberstquartiermeister die Verantwortung für die schweizerische Landesvermessung übernahm, erschien in Paris der erste von drei Bänden der *Nouvelle description géométrique de la France*.⁴⁶ Deren Verfasser, der Ingenieur-Geograph Louis Puissant (1769–1843, Abb. 18), galt während fast eines halben Jahrhunderts als bedeutendster Vertreter der französischen Geodäsie. Er war vier Jahre zuvor als Nachfolger von Pierre-Simon Laplace (1749–1827) in die «Académie des sciences» berufen worden. Wie der vier Jahrzehnte jüngere Eschmann entstammte er ärmlichen bäuerlichen Verhältnissen, wurde schon früh Waise und kam zu einem Landvermesser in die Lehre; dies weckte in ihm den Wunsch, Geometrie zu studieren, was ihm im Verlaufe seiner beeindruckenden Karriere die höchsten wissenschaftlichen Verdienste bescherte.⁴⁷ Die von Puissant verfassten Lehrbücher über Geodäsie⁴⁸ und Topographie⁴⁹ waren Standardwerke, die von den Fachleuten auch in der Schweiz häufig konsultiert wurden. Dufour korrespondierte auch mit Puissants Auftraggeber, dem Divisiongeneral Jean Jacques Pelet (1777–1858, Abb. 19), der das französische Dépôt de la Guerre zwischen 1830 und 1850 leitete. Mit der *Nouvelle description géométrique de la France* von 1832 verfügte Frankreich bereits über den zweiten landesweiten geodätischen Bezugsrahmen. César François Cassini de Thury (1714–1784)

Abb. 16: Die ersten drei Dreiecke des Dreiecksnetzes der *Triangulation primordiale* aus den Ergebnissen der trigonometrischen Vermessungen der Schweiz. Demnach wurde auf dem Punkt Walperswyl zwischen Sugy und dem Chasseral ein Winkel von $85^\circ 46' 21,2''$ beobachtet, auf Sugy zwischen Chasseral und Walperswyl ein solcher von $52^\circ 54' 51,2''$, und so weiter. Der Dreiecksfehler ergab sich nach Berücksichtigung des sphärischen Exzesses zu $+0,7''$ (Eschmann (1840), S. 67).

Dreieck Nr.	Punkt 1	Punkt 2	Punkt 3	Abweichung in"
100	Berra	Niesen	Gumfluh	-34.4
104	Hohgant (Tralles)	Faulhorn	Rothhorn	+17.6
110	Ritzhorn	Steinhaushorn	Klein Sidelhorn	-16.1
106	Rothhorn	Waldgerst	Hohenstollen	+13.5
15	Calanda	Scnessaplana	Schwarzhorn	+11.7

Tab. 1: Die fünf grössten Abweichungen in den Dreiecksschlüssen der Triangulation primordiale.

hatte nämlich rund ein halbes Jahrhundert zuvor die erste *Description géométrique de la France* publiziert,⁵⁰ welche die Grundlage für die *Carte de France* 1:86 400 bildete. Dieses Kartenwerk, das auch als «Cassini-Karte» bezeichnet wird und ab 1756 erschien, beruht als erstes in Europas auf einer landesweiten Triangulation.⁵¹ Im Zeitalter Napoleons vermochte es allerdings den gestiegenen Ansprüchen nicht mehr zu genügen. Bereits 1808 trug sich der französische Kaiser mit dem Gedanken, durch die Ingenieur-Geographen eine neue topographische Karte erstellen zu lassen. Doch das Projekt, das eine Koordination mit den Arbeiten am Kataster vorsah, wurde erst nach der Wiederherstellung der Monarchie konzipiert. König Louis XVIII. (1755–1824) ordnete seine Realisierung im Zeichen des wieder erstarkenden Nationalstolzes am 11. Juni 1817 an.⁵² Das Ziel war die Erstellung der *Carte de l'Etat-major* 1:80 000.

Das von Puissant publizierte französische Triangulationsnetz erster Ordnung umfasste rund 1000 Punkte.⁵³ Es war modular aufgebaut und enthielt die von Norden nach Süden verlaufenden Dreiecksketten der «Mériidiennes», jene der von Westen nach Osten verlaufenden «Parallèles», sowie die mit den «Triangulations intermédiaires» ausgefüllten Zwischenräume (Abb. 20). Im Ursprung des französischen Koordinatensystems lag das Observatorium von Paris. Die «Mériidiennes de France» zwischen Dünkirchen und Montjoux, welche ab 1792 gemessen worden war und als Grundlage für die Bestimmung des Meters gedient hatte,⁵⁴ bildete die von Norden nach Süden verlaufende Hauptachse, der senkrecht dazu stehende «Parallèle de Paris» jene von Westen nach Osten. Die weiteren «Mériidiennes» und «Parallèles» folgten in Abständen von rund 200 Kilometern. Das Netz ist auf sieben Basen abgestützt,⁵⁵ von denen jene von Ensheim nördlich von Mülhausen mit über 19 km die längste ist. Sie war zwischen dem 27. Juli und dem 3. September 1804 unter Leitung von Oberst Maurice Henry (1763–1825) durch Teile des «Bureau topographique de l'Helvétie» mit den Platinstäben des Basismessapparates von Borda beobachtet worden.⁵⁶

Die im Gebiet zwischen Strassburg und Lyon liegenden Teilnetze (Abb. 21) sind in Tab. 2 zusammengestellt. Ein Dutzend Punkte liegt auf schweizerischem Staatsgebiet, und die Umhüllende bedeckt mit rund 7700 km² rund einen Fünftel der heutigen Landesfläche der Schweiz.

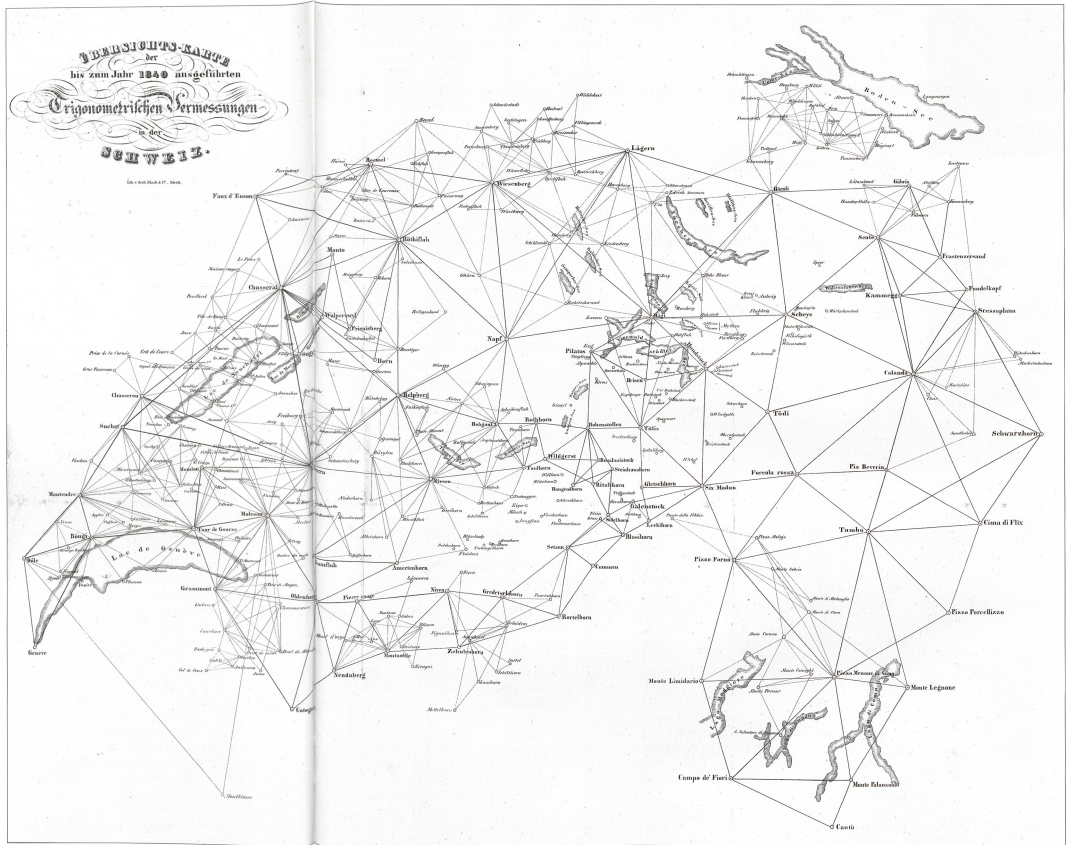


Abb. 17: Übersichts-Karte der bis zum Jahr 1840 ausgeführten Trigonometrischen Vermessungen in der Schweiz. Steingravur von F. Stabel, Lithographie von Orell, Füssli & C^e, Zürich, 1840, Massstab ca. 1:505 000, Originalformat 62,5 x 50 cm. Dieser Netzplan war gefaltet in Eschmanns Ergebnisse der trigonometrischen Vermessungen in der Schweiz eingebunden und unterscheidet das Netz erster Ordnung (dicke Linien) und jene zweiter Ordnung (dünne Linien). Im Berner Oberland und in der Zentralschweiz sind einige Punkte ohne Netzverbindungen eingezeichnet (Eschmann [1840], Beilage).

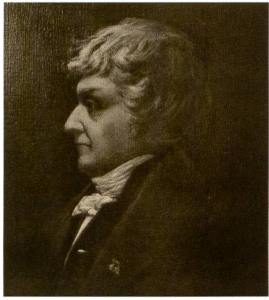


Abb. 18: Louis Puissant (1769–1843), Verfasser der *Nouvelle description géométrique de la France* von 1840 (IGN).



Abb. 19: Baron Jean Jacques Pelet (1777–1858), Divisionsgeneral, 1830–1850 Direktor des *Dépôt de la Guerre* und Auftraggeber der *Nouvelle description géométrique de la France* (IGN).

Neuberechnung des Teilnetzes Ost aus der *Nouvelle description géométrique de la France*

Die in Tab. 2 aufgelisteten und in Abb. 20 rot umrandeten Teilnetze aus der *Nouvelle description géométrique de la France*, welche an den Westrand der Schweiz grenzen oder diesen sogar überschreiten, wurden auf ähnliche Weise erfasst wie die *Triangulation primordiale*. Allerdings mussten die beobachteten Winkel zuerst aus den «Angles sphériques» rekonstruiert werden, indem der Dreieckswiderspruch gleichmässig auf alle drei Winkel des betreffenden Dreiecks verteilt wurde.⁵⁷ Bei der Erfassung der geographischen Koordinaten⁵⁸ zeigten sich an den Nahtstellen der Teilnetze Differenzen, die darauf zurückzuführen sind, dass seinerzeit wohl die Dreiecke innerhalb einer Kette in der angegebenen Reihenfolge nacheinander berechnet wurden, aber keine Gesamtausgleichung durchgeführt werden konnte. Nach einer sehr optimistischen modernen Schätzung wären für die rund 1000 Punkte des gesamten Netzes erster Ordnung rund 30 bis 40 Jahre nötig gewesen, um es von einem erfahrenen Rechner mit den damaligen Mitteln gesamthaft auszugleichen zu lassen.⁵⁹

Für die hier vorliegende Berechnung spielten Koordinatenunterschiede zwischen den verschiedenen Netzteilen nur insofern eine Rolle, als es vorgängig abzuklären galt, ob die später gemessenen Netzteile jeweils an identischen Punkten mit den früher gemessenen verbunden wurden. Um dies nachzuweisen, wurden die einzelnen Teilnetze zuerst in sich ausgeglichen, wobei jeweils zwei möglichst diamet-

ral gelegene Punkte als Festpunkte eingeführt wurden. Die aus dieser minimalen Lagerung resultierenden Koordinatenpaare aneinandergrenzender Teilnetze wurden anschliessend mit dem Modul TRANSINT des Programmpaketes GeoSuite⁶⁰ von swisstopo einer Helmertransformierung unterzogen. Diese Verknüpfungsanalyse zeigte, dass die auf dem schweizerischen Jura-Hauptkamm liegenden Signale des ältesten verwendeten Teilnetzes, der zwischen 1804 und 1813 gemessenen Méridienne de Strasbourg (Tab. 2), in den später gemessenen Teilnetzen mit höchster Wahrscheinlichkeit nicht an der gleichen Stelle errichtet worden waren. In der Folge wurden für die vier Punkte Rötiflüh, Chasseral, Chasseron, Mont Tendre je ein Zentrum für die Méridienne de Strasbourg und für die übrigen Teilnetze bestimmt. Während jene für die Rötiflüh und Chasseral nur um 6 Dezimeter voneinander abweichen, zeigen sich beim Chasseron bzw. beim Mont Tendre Lagedifferenzen von 4.5 bzw. gar 5.6 Meter. Derartige Abweichungen zeugen von Zeiten, in denen Punktidentitäten über grössere Zeitspannen jeweils mit grossen Unsicherheiten behaftet waren, weil es noch keine Versicherungsprotokolle gab, die eine zweifelsfreie Rekonstruktion der Punkte anhand exzentrischer Rückversicherungen erlaubt hätten. Das auf diese Weise kontrolliert zusammengesetzte französische Teilnetz Ost ist von ausgezeichneter Qualität und zeugt vom hohen Stand der Technik im westlichen Nachbarland.

Am augenfälligsten zeigen sich die verschiedenen politischen Rahmenbedingungen beider Länder in den Masseinheiten für die Längen und für die Winkel. In Frankreich war der Meter bereits 1799 durch Gesetz vorgeschrieben, noch bevor Méchain und Delambre dessen wissenschaftliche Grundlage zwischen 1806 und 1810 wissenschaftlich detailliert begründet hatten.⁶¹ Aber es war schon zu Beginn des 19. Jahrhunderts eine nationale Einheitlichkeit im Masssystem erzielt worden, wohingegen in der Schweiz anfangs der 1830er-Jahre immer noch die Vielfalt kantonaler Masse herrschte.⁶² Noch vor Dufours Amtsantritt besprach die erste Kommission für Landesaufnahme vom 4. bis zum 9. Juni 1832 in Bern die zur Vollendung der trigonometrischen Vermessungen zu treffenden Massnahmen.⁶³ Dabei diskutierte sie auch «den Antrag, allen Vermessungsarbeiten den Meter als Mass zu Grunde zu legen, was leider [...] bekämpft wurde, worauf die französische Toise, die Toise von Peru, als Urmass aufgestellt wurde (3 gegen 1 Stimme)». Es ist bezeichnend, dass der Antrag, den Meter einzuführen, von Ingenieur

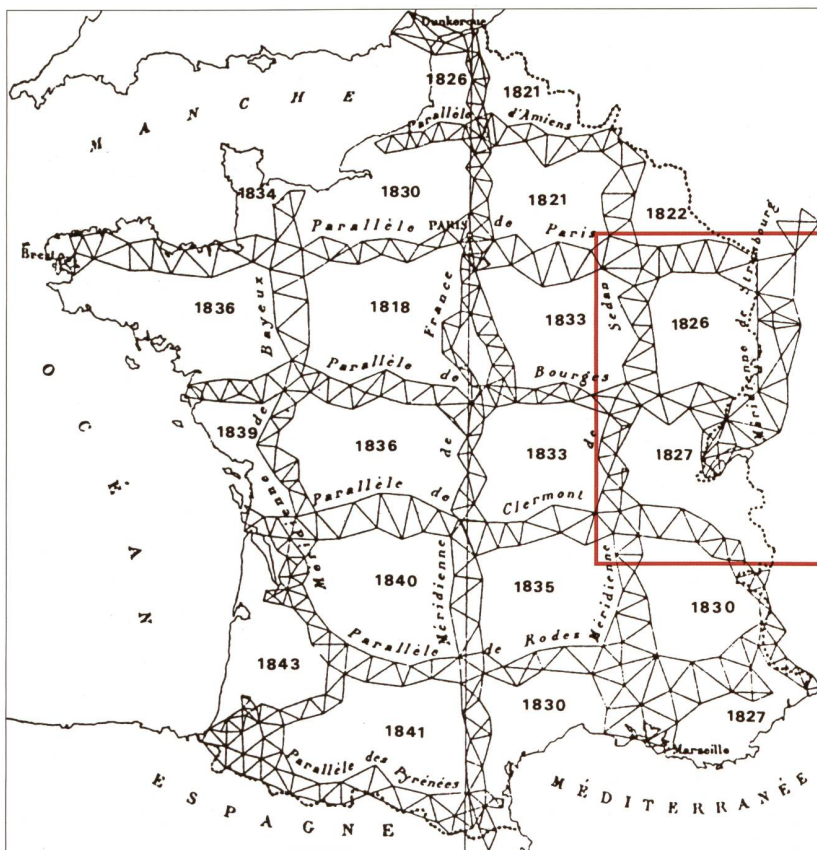


Abb. 20: Aufbau der 1832 von Puissant publizierten französischen Triangulation: Von Norden nach Süden führen die Dreiecksketten der «Méridiennes», von Westen nach Osten jene der «Parallèles»; das dazwischenliegende Gebiet wurde mit «Triangulations intermédiaires» ausgefüllt. Die rot umrandete Zone wurde für die vorliegende Studie erfasst (vgl. Abb. 23).

Buchwalder gestellt wurde, der aus dem ehemaligen Fürstbistum Basel, dem heutigen Kanton Jura, stammte. In dieser Gegend wurde der Meter zweimal eingeführt. 1793 war der von Frankreich ein Jahr zuvor besetzte nördliche Teil des Fürstbistums zum Département du Mont-Terrible ausgerufen worden, in dem später das metrische System vorgeschrieben wurde. Nachdem das Fürstbistum im Wiener Kongress 1815 dem Kanton Bern zugeteilt worden war, galten wieder die alten Masse. Erst 1877 wurde der Meter per Bundesgesetz landesweit definitiv eingeführt. Dieses Hin und Her in Sachen Masssystem, dem in den 1830er-Jahren auch die Verantwortlichen für die Landesvermessung ausgesetzt waren, zeigt deutlich die Widerstände, mit welchen man hierzulande noch lange auf die fortschrittlichen Errungenschaften des napoleonischen Frankreichs reagierte. Die drei obsiegenden Experten der Kommission für Landesaufnahme hielten lieber am vorrevolutionären Wissensstand der Monarchie fest, obwohl dieser damals bereits fast ein Jahrhundert alt war. Eschmann hielt sich acht Jahre später in den *Ergebnissen* jedoch nicht konsequent an diesen Beschluss, der noch aus der Zeit vor Dufour stammte. Bei den Basismessungen wurde noch mit Toise, Fuss und Linie gearbeitet, im trigonometrischen Teil mit dem Meter.

Gleiches lässt sich auch über das verwendete Winkelmass sagen: Während die Franzosen den Vollkreis in 400 Grad einteilten und diese konsequent nach dem Dezimalsystem weiter unterteilten, setzte man in der Schweiz noch lange auf das Sexagesimalsystem mit der viel unbequemerem Einteilung in 360 Grad zu 60 Minuten und 60 Sekunden. Bezüglich des Längen- und des Winkelmasses beruhen die französische Landesvermessung somit auf moderneren Einheiten als jene der Schweiz.

Aussagekräftig sind auch die durch die Netze abgedeckten Flächen. Die *Primordiale* deckt nur etwa 28235 km² schweizerisches Gebiet ab, somit nur etwas mehr als zwei Drittel der Fläche des Landes. Grosse Teile nördlich des Jurahauptkammes und des südlichen Wallis sowie praktisch das ganze Tessin wurde davon gar nicht erfasst (**Abb. 22**). In diesen Gebieten mussten die Dreiecke zweiter und dritter Ordnung die nötige Grundlage für die Dufourkarte bilden. Beim französischen Teilnetz ist der Anteil exterritorialer Gebiete mit über 13% ungleich höher. Allein 7701 km² fallen hier auf heute schweizerisches Gebiet, ein deutlicher Beleg für die expansive Landesvermessungspolitik, die bis zum Ende der napoleonischen Herrschaft in Frankreich betrieben wurde. Die Punktdichte der *Primordiale* ist etwa anderthalb Mal so gross wie jene des französischen Teilnetzes.

Das französische Dreiecksnetz ist durch die Méridiennes, die Paralleles und die Triangulations intermédiaires klar strukturiert und modular aufgebaut. Demgegenüber ist die *Triangulation primordiale* ein einfaches Gesamtnetz, in welchem sich Dreieck an Dreieck reiht. Zwar wird der historische Entstehungszusammenhang einzelner Netzteile beschrieben,⁶⁵ aber diese lassen sich nicht isoliert auswerten, weil

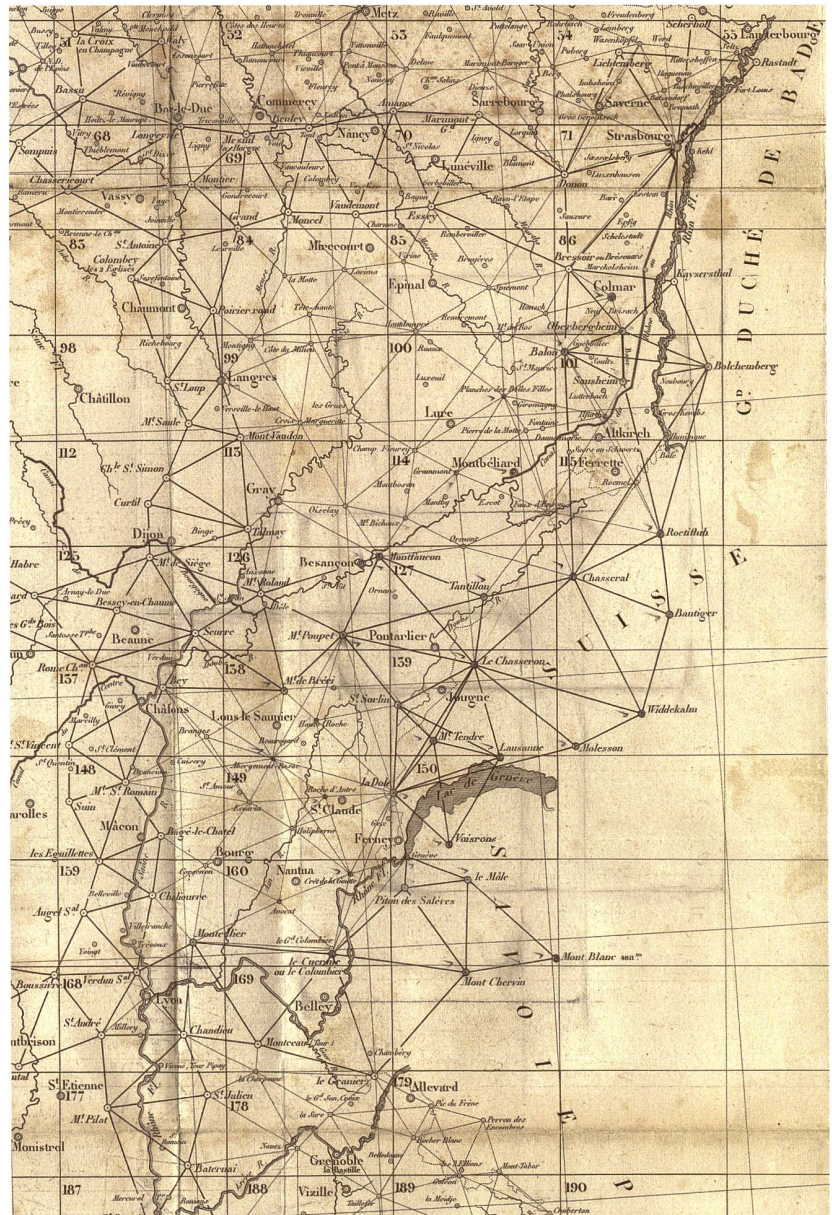


Abb. 21: Ausschnitt aus dem Netzplan der *Carte générale des triangles fondamentaux et des principaux points secondaires de la nouvelle carte topographique de la France* gravée à l'échelle de 1 pour 80,000 comprenant le tableau d'assemblage des feuilles de cette carte. Dressée par ordre du Ministre de la guerre, sous la direction de M. le Lt G.^{al} Pelet, pair de France, Directeur du Dépôt de la Guerre. Diese Karte war der *Nouvelle description géométrique de la France* beigeheftet, die 1832 von Puissant publiziert wurde (Puissant [1832], Beilage). Ausschnitt verkleinert auf 60%.

Teilnetz	Seiten	Zeitraum	Leiter	Anz. Δ
Méridienne de Strasbourg	404–409	1804 [–1813]	Henry	21
Méridienne de Sedan	414–425	1820–1825	Delcros/Clément	25
Parallèle de Paris	208–216	1818–1823	Henry	13
Parallèle de Bourges	246–256	1818–1824	Corabœuf	18
Parallèle moyen	292–296	1818–1821	Brousseau	6
Triangulation intermédiaire [nord]	514–527	1826–1829		74
Triangulation intermédiaire [sud]	527–538	1827–1829		52

Tab. 2: Die für die vorliegende Studie verwendeten Teilnetze der französischen Triangulation erster Ordnung. Die Seitenzahlen beziehen sich auf Puissant (1832), die Angaben zum Zeitraum und zum Leiter der Beobachtungen auf Levallois (1988), S. 99. Die Anzahl Dreiecke bezieht sich auf die für diese Studie verwendete Auswahl.

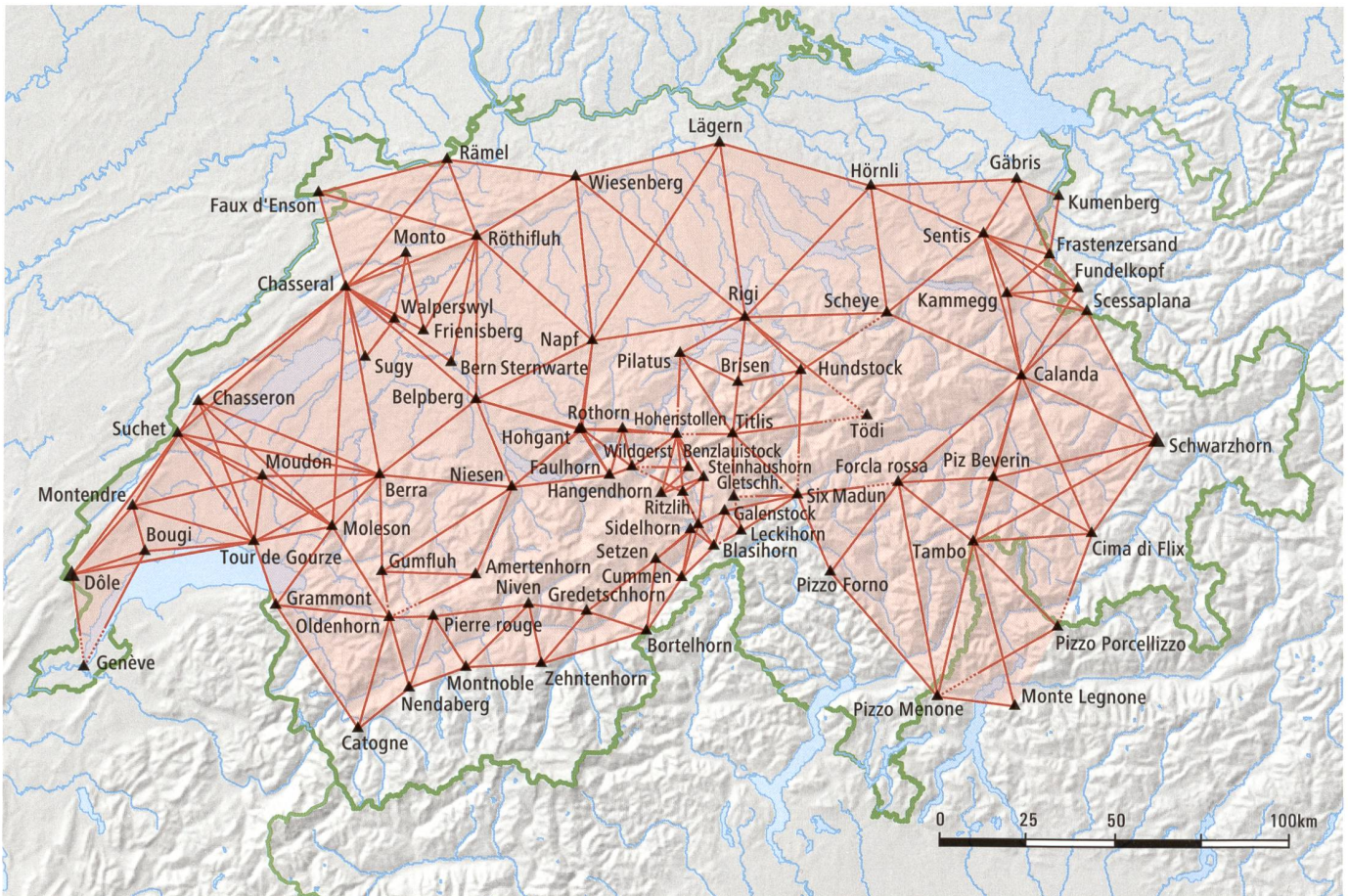


Abb. 22: Netzplan aus der Neuberechnung der *Triangulation primordiale* gemäss Eschmanns *Ergebnissen* von 1840. Das Netz ist an den beiden Punkten Dôle und Schwarzhorn (grosse schwarze Dreieckssignatur) minimal gelagert. Es umfasst nur etwa zwei Drittel der Schweiz und weist einen Auslandsanteil von knapp über 4% auf (Graphische Bearbeitung: Patrick Flückiger, swisstopo).

alles ineinander verhängt ist. Eschmann hat die Dreiecke ausgehend von der Basis im Grossen Moos im Uhrzeigersinn entlang des Nord- und Ostrand der Schweiz bis zur Verbindung mit dem österreichischen und dem lombardischen Netz berechnet, vermutlich um die Qualität der Verbindungen zu den Nachbarstaaten rasch beurteilen zu können. Anschliessend folgten die Zentralschweiz, dann die Westschweiz und schliesslich die in den Tälern verlaufenden Netze des Berner Oberlands und des Wallis. Sie sind in der Gegend zwischen Grimsel- und Furkapass mit jenen der Zentralschweiz verbunden, wo sich denn auch grössere Spannungen zeigen.

Die Dreiecksseiten der *Triangulation primordiale* sind durchschnittlich 28.3 km lang. Sie sind somit etwa 15% kürzer als jene des französischen Netzes mit 33.5 km. Im französischen Netz ist allerdings das grösste Dreieck nur etwa 4.5 Mal so gross wie das kleinste, wohingegen die *Primordiale* mit dem Faktor 46 eine zehnmal grössere Spannweite aufweist. Das französische Netz wirkt daher homogener aufgebaut, wobei hier natürlich die Topographie des Alpenraumes ausschlaggebend ist, dessen höchste Gipfel wie die Dufourspitze und das Finsteraarhorn noch nicht in die *Primordiale* einbezogen waren. Im Jahre 1861 wurde die Schweizerische Geodätische

Tab. 3: Vergleich der eidgenössischen *Triangulation primordiale* gemäss Eschmanns *Ergebnissen* von 1840 in **Abb. 22** mit dem Teilnetz Ost aus der 1832 von Puissant publizierten *Nouvelle description géométrique de la France* nach **Abb. 23**. Dabei ist zu beachten, dass letzteres Teilnetz nach grober Schätzung nur etwa ein Sechstel bis ein Siebtel des Gesamtnetzes umfasst. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden alle Angaben zu den Winkeln in $^{\circ}$ umgerechnet.

Vergleich der beiden Netze	<i>Triangulation primordiale</i> gemäss den <i>Ergebnissen</i>			<i>Nouvelle description géométrique de la France</i>		
Winkelmass	Altgrad ($^{\circ}$, 360 Grad)			Neugrad (gon, 400 Grad)		
Längenmass	Pariser Fuss			Meter		
Zeitraum der Messungen	~ 1810–1839			1804–1829		
Aufbau	Gesamtnetz (vgl. Abb. 14)			Modular (vgl. Abb. 20)		
Fläche der Umhüllenden [km ²]	29'270, davon CH 28'234 (97%)			62'696, davon FR 54'326 (87%)		
Anzahl Punkte	80			112		
Anzahl km ² pro Punkt	366			560		
Anzahl Dreiecke	126			209		
davon geschlossen	94 (75%)			203 (97%)		
Dreiecksfläche min./max. [km ²]	29	1341		529	2359	
Länge der Dreiecksseiten (Ø, min., max.) [km]	28.26	6.52	71.77	33.51	10.61	96.29
Mittlerer Winkelfehler im geschlossenen Dreieck [$^{\circ}$]	12.7			5.8		
Mittlerer Winkelfehler nach Ausgleich [$^{\circ}$]	13.9			6.5		
Mittlerer Genauigkeit auf 100 km nach Ausgleich in einem Guss	~1.0 – 1.5 m			~0.4 – 0.6 m		

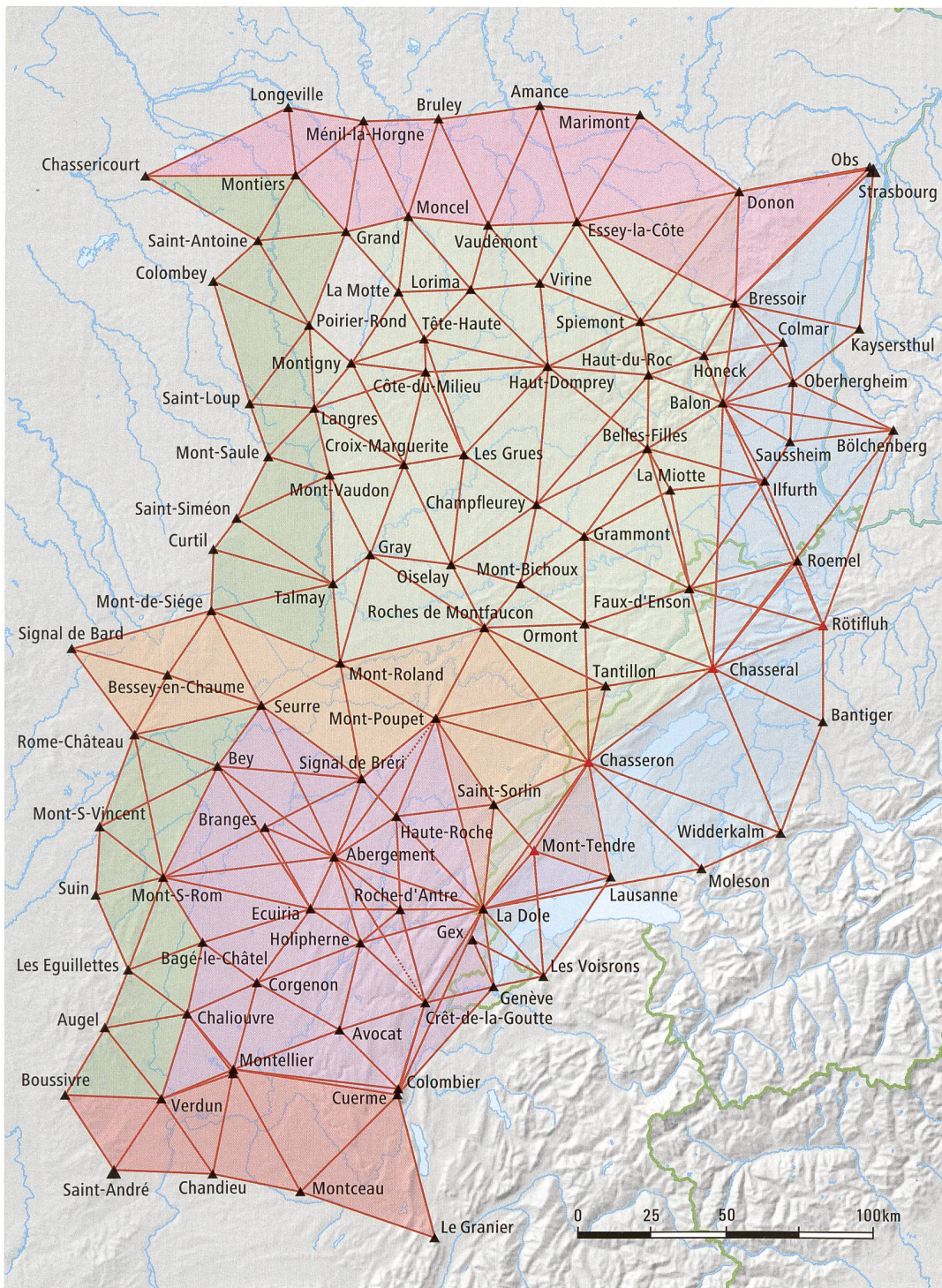


Abb. 23: Netzplan mit dem für diese Studie erfassten französischen Teilnetz Ost aus der *Nouvelle description géométrique de la France* gemäss Abb. 20. Die sieben verwendeten Netzteile sind farblich differenziert. Das Netz ist an den beiden Punkten Strasbourg und Saint-André (grosse schwarze Dreieckssignatur) minimal gelagert. Bei den mit roten Dreiecken symbolisierten Punkten auf dem schweizerischen Teil des Jurahauptkammes wurden für die ältesten Messungen (Méridienne de Strasbourg) ein separates Zentrum eingeführt (Graphische Bearbeitung: Patrick Flückiger, swisstopo).

Kommission gegründet mit dem primären Auftrag, den Schweizer Beitrag zur Mittel-Europäischen Gradmessung zu liefern. Dieses Gradmessungsnetz verwendete Teile des Netzes der *Triangulation primordiale*, wurde aber vollständig neu gemessen, mit einem besseren Alpenübergang und durchwegs geschlossenen Dreiecken.⁶⁶ Erst zu Beginn des 20. Jahrhunderts gelang es, die Landestriangulation erster Ordnung auch im Alpenraum homogen aufzubauen.⁶⁷

Um die erzielte Genauigkeit im Zusammenspiel aller Messungen beurteilen zu können, wurden beide Netze an zwei möglichst diametral gelegenen Punk-

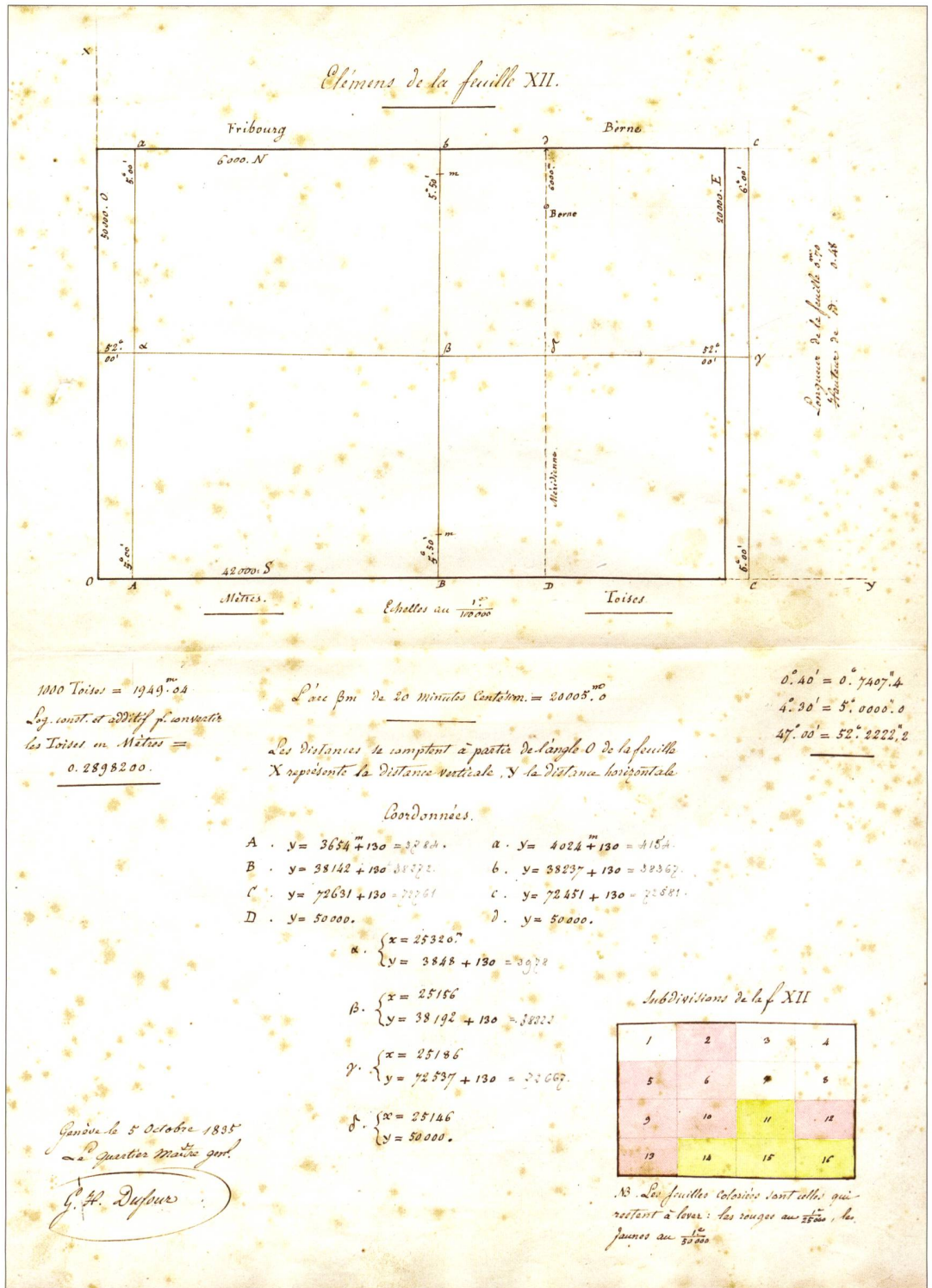
ten minimal gelagert. Der mittlere Fehler eines Winkels beträgt nach der Ausgleichung im französischen Netz 6.5^{c} , in der *Primordiale* 13.9^{c} . Man kann also vereinfacht sagen, dass die Franzosen doppelt so genau gemessen haben als die Schweizer. Angesichts des heterogenen Materials, auf das sich Eschmann stützen musste, ist dies sogar erstaunlich gut. Wenn man anhand von relativen mittleren Fehlerellipsen die Genauigkeit von Punktpaaren analysiert, welche rund 100 km voneinander entfernt sind, so liegt diese im französischen Netz zwischen 0.4 und 0.6 Metern, was erstaunlich gut ist. Bei der *Primordiale* liegen diese Werte zwischen 0.9 und 1.2 Metern, was

zwar ebenfalls etwa doppelt so hoch ist, aber für die Erstellung der Dufourkarte längst genügend war, entspricht dies doch im Massstab 1:100 000 etwa 0.01 mm.

Wir können also abschliessend zusammenfassen, dass die *Triangulation primordiale* trotz ihrer Mängel eine absolut genügende Grundlage für die Dufourkarte bildete. Ihre Publikation in Form der *Ergebnisse* suggerierte aber eine Homogenität, welche die Daten bei genauer Betrachtung nicht zu gewährleisten vermochten. Damit funktionierten die *Ergebnisse*

auf die gleiche Weise wie das Kartenwerk selbst, welches ebenfalls den Eindruck einer nationalen Einheitlichkeit erweckte, hinter dem sich die kantonalen Unterschiede verbergen. Wenn man aber mit der hier beschriebenen Gesamtausgleichung genau hinschaut, tritt diese Heterogenität zu Tage, was aber der grossartigen Leistung Eschmanns, Dufours und der anderen beteiligten Ingenieure keinen Abbruch tut. Ihr Werk bildet einen wichtigen Meilenstein in der Geschichte der schweizerischen Landesvermessung.⁶⁸

Abb. 24: *Elemens de la feuille XII.* Handschriftliche Berechnung der Blattecken von Blatt XII *Freyburg Bern*, durch Dufour am 5. Oktober 1835 in Genf erstellt. Unten rechts ist angegeben, welche Aufnahmeblätter noch in den Massstäben 1:25 000 (rot) und 1:50 000 (gelb) erstellt werden müssen (Kartensammlung swisstopo).



Literatur

Berthaut, [Henri Marie Auguste]: *La Carte de France 1750–1898. Étude historique.* Paris, 1898/99 (2 Bde).

Cassini de Thury, [César François]: *Description géométrique de la France.* Paris, 1783.

Dufour, Guillaume-Henri: *Notice sur la carte de la Suisse dressée par l'état-major fédéral.* In: *Mémoires de la Société de Géographie de Genève* 2 (1861), S. 5–21.

Dufour, Guillaume-Henri: *Schlußbericht des Herrn General Dufour über die topographische Karte der Schweiz. (Vom 31. Dezember 1864.)* In: *Schweizerisches Bundesblatt* 17 (1865), Bd. 1, Nr. 10, S. 203–216.

Emery, Pauline; Ray, Jérôme; Ulrich, David: *GeoSuite: Modul TRANSINT, Modul REFRAME.* Manual 10-d, swisstopo Geodäsie, Wabern, 2013 (56 + XI Seiten).

[Eschmann, Johannes]: *Trigonometrisch bestimmte Höhen der Schweiz. Aus den Protokollen der Schweizerischen Triangulation ausgezogen.* Zürich, 1838.

Eschmann, J[ohannes]: *Ergebnisse der trigonometrischen Vermessungen in der Schweiz. Nach Befehl der Hohen Tagsatzung aus den Protokollen der eidgenössischen Triangulierung bearbeitet von J. Eschmann, Oberlieutenant beim eidgenössischen Oberstquartiermeisterstab.* Zürich, 1840.

Gautier, Alfred: *Ergebnisse der trigonometrischen Vermessungen in der Schweiz, etc. – Résultats des mesures trigonométriques exécutées en Suisse.* In: *Bibliothèque universelle de Genève, Nouvelle série*, 30 (1840), Genève/Paris, S. 136–162.

[Graf, Johann Heinrich]: *Die Schweizerische Landesvermessung 1832–1864. Geschichte der Dufourkarte.* Bern, 1896.

Gubler, Erich: *Beschreibung zum Programm LTOP Version 94.* Manual 02-d, swisstopo Geodäsie, Wabern, 2003 (109 Seiten).

Gubler, Erich: *150 Jahre Schweizerische Geodätische Kommission.* In: *Geomatik Schweiz* 109 (2011), 6, S. 260–268.

Gugerli, David; Speich, Daniel: *Topografien der Nation. Politik, kartografische Ordnung und Landschaft im 19. Jahrhundert.* Zürich, 2002.

Hauser, H[ans]: *Die Entwicklung des Genie.* In: *Allgemeine Schweizerische Militärzeitschrift ASMZ* 151 (1985), Nr. 9, S. 7–10.

Hilfiker, J[akob]: *Untersuchung der Höhenverhältnisse der Schweiz im Anschluss an den Meereshorizont.* Bern, 1902.

Hoefer, Jean Chrétien Ferdinand: *Nouvelle biographie générale.* 46 Bde., Paris, 1852–1866.

Jaun, Rudolf: *Das Eidgenössische Generalstabskorps 1804–1874. Eine kollektiv-biographische Studie.* Basel und Frankfurt am Main, 1983. [Bd. 3 der Reihe: Der Schweizerische Generalstab].

Jaun, Rudolf: *Das Schweizerische Generalstabskorps 1875–1945. Eine kollektiv-biographische Studie.* Basel und Frankfurt am Main, 1991. [Bd. 8 der Reihe: Der Schweizerische Generalstab].

Kobold, F[ritz]: *Von den Anfängen der schweizerischen Landesvermessung 1809–1840.* In: *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik* 81 (1983), 9, S. 301–311.

Levallois, Jean Jacques: *Mesurer la terre. 300 ans de géodésie française. De la toise du Châtelet au satellite.* Paris, 1988.

Méchain, Pierre François André; Delambre, Jean Baptiste Joseph: *Base du système métrique décimal, ou mesure de l'arc du méridien compris entre les parallèles de Dunkerque et Barcelone, exécutée en 1792 et années suivantes.* 3 Bde., Paris, 1806–1810.

Meyer von Knonau, Gerold: *Literatur vor 1840.* In: *Archiv für schweizerische Geschichte* 1 (1843), S. 325–404.

Puissant, Louis: *Traité de géodésie.* 2 Bde., Paris, 1805.

Puissant, Louis: *Traité de topographie, d'arpentage et de nivellement.* 3 Bde., Paris, 1807–1810.

Puissant, Louis: *Nouvelle description géométrique de la France.* 3 Bde., Paris, 1832–1840.

Rickenbacher, Martin: *Die Basismessungen im Grossen Moos zwischen Walperswil und Sugiez.* In: *Cartographica Helvetica* 34 (2006), S. 3–15.

Rickenbacher, Martin: *Napoleons Karten der Schweiz. Landesvermessung als Machtfaktor 1798–1815.* Baden, 2011.

Ris, Friedrich: *Maass und Gewicht.* In: *Volkswirtschafts-Lexikon der Schweiz* 2, Bern, 1887, S. 363–401.

Schlatter, Andreas: *Das neue Landeshöhennetz der Schweiz LHN95.* [Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz; Bd. 72]. Zürich, 2007.

Schneider, Dieter; Gubler, Erich; Wiget, Adrian: *Meilensteine der Geschichte und Entwicklung der Schweizerischen Landesvermessung.* In: *Geomatik Schweiz* 113 (2015), 11, S. 462–483.

Verdun, Andreas: *Die alte Sternwarte in Bern (1812–1876): Der Koordinaten-Ursprung der schweizerischen Landesvermessung.* In: *Cartographica Helvetica* 29 (2004), S. 35–42.

Wolf, Rudolf: *Johannes Eschmann.* In: *Biographien zur Kulturgeschichte der Schweiz* 2 (1859), S. 435–451.

Wolf, Rudolf: *Geschichte der Vermessungen in der Schweiz.* Zürich, 1879.

Zölly, Hans: *Geschichte der geodätischen Grundlagen für Karten und Vermessungen in der Schweiz.* Wabern, 1948.

Anmerkungen

- 1 Eschmann (1840), S. VII–XVI; Gautier (1840), S. 136–141; Wolf (1879), S. 214–259; Graf (1896), S. 42–139; Zölly (1948), S. 42–65; Gugerli/Speich (2002); Kobold (1983); Schneider et al (2015), S. 464.
- 2 *On ne m'a pas encore envoyé les papiers qui concernent les travaux géodésiques; je n'ai aucune idée de ce qui est terminé et de ce qui reste à faire. Mais j'espère que le travail est assez avancé pour qu'on puisse en entrevoir le terme.* BAR E27/22643, Bd. 1, Dufour an Pestalozzi, 8.11.1832, zitiert nach Graf (1896), S. 31.
- 3 *Les ingénieurs français avaient déjà rattaché à leurs grandes chaînes de triangles l'observatoire de Berne et celui de Genève. Il fallait continuer leur œuvre et l'étendre sur la Suisse entière.* Dufour (1861), S. 5.
- 4 Graf (1896), S. 33f. Die erste Kommissionssitzung hatte vom 4.–9.6.1832 noch vor Dufours Amtsantritt unter der Leitung seines Vorgängers Johann Ludwig Wurstemberger (1783–1862) stattgefunden, der aber kurze Zeit später zurücktrat.
- 5 *Je viens par la présente vous proposer officiellement d'être employé à la triangulation de la Suisse. Si cela entre dans vos convenances, je vous prie de me le faire savoir par écrit. Pour cette année vous auriez à faire au printemps les observations dans les cantons de Berne, Soleure, Argovie et Bâle et lorsque la saison le permettra celles des Grisons.* BAR E27/22643, Bd. 1, Dufour an Eschmann, 7.4.1833, zitiert nach Graf (1896), S. 37.
- 6 Wolf (1859), S. 437–439.
- 7 *Je me suis trouvé, je vous l'avoue, excessivement embarrassé quand j'ai dû faire mon rapport pour rendre compte de l'emploi des sommes assez considérables que nous avons dépensées en 1833 sans obtenir de résultat bien appréciable.* BAR E27/22643, Bd. 1, Dufour an Buchwalder, 14.3.1834, zitiert nach Graf (1896), S. 38.
- 8 Rickenbacher (2006), S. 10–12.
- 9 Graf (1896), S. 89.
- 10 Wolf (1879), S. 232–237.

- 11 Finsler an Horner, 10.11.1832, zitiert nach Wolf (1879), S. 244, Anm. 3.
- 12 *Je comprends parfaitement les difficultés que vous rencontrez à assembler des matériaux si divers, et qui ont été préparés à des époques si éloignées. Il faudra faire pour le mieux et de manière à faciliter le plus possible la consultation de notre Description géométrique de la Suisse.* BAR E27/22643, Bd. 4, Dufour an Eschmann, 24.12.1838.
- 13 *Quant à la partie historique, vous ferez bien de ne parler qu'en termes un peu vagues, de ce qui a été fait avant 1833 parce qu'en effet la lenteur qui a été mise aux opérations avant cette époque fait peu d'honneur à la Confédération.* BAR E27/22643, Bd. 4, Dufour an Eschmann, 24.12.1838.
- 14 Nach Gugerli/Speich (2002), S. 138, wurde ein solcher Netzplan schon 1837 an die Kantone versandt.
- 15 Verdun (2004); Zölly (1948), S. 55.
- 16 *En tout cas je garde soigneusement tous mes calculs pour la possibilité éventuelle d'une description géométrique de la Suisse.* BAR E27/22642, Bd. 3, Eschmann an Dufour, 2.1.1838.
- 17 Puissant (1832).
- 18 BAR E27/22643, Bd. 4, Dufour an Eschmann, 7.9.1838.
- 19 Eschmann (1838).
- 20 «Tous ces nivellements [...] feront un ornement de notre description géométrique.» BAR E27/22642, Bd. 3, Eschmann an Dufour, 1.11.1839.
- 21 Schlatter (2007), S. 53–55.
- 22 1610.54 m. Puissant (1832), S. 408.
- 23 1608.6 m. Puissant (1832), S. 526.
- 24 Eschmann (1840), S. 91f. Zur ausführlichen Diskussion der Festlegung des Höhenhorizontes vgl. Schlatter (2007), S. 52–58.
- 25 Eschmann (1840). Es wird heute in Analogie zu den jüngeren Bezugssystemen mit «CH1840» bezeichnet: www.swisstopo.ch > Wissen und Fakten > Geodäsie / Vermessung > Bezugssysteme > Historische Bezugssysteme (zitiert 9.1.2017).
- 26 Gautier (1840).
- 27 *C'est avec une satisfaction toute particulière que j'annonce la publication récente de l'ouvrage dont je viens de rapporter le titre, et qui renferme les bases d'une description géométrique de la Suisse: car cette publication me paraît très-honorable pour notre patrie sous le rapport scientifique; et c'est un pas important de plus de fait vers le but qu'on s'y propose déjà depuis bien des années, celui d'obtenir une grande carte topographique qui embrasse l'ensemble de la Confédération.* Gautier (1840), S. 136.
- 28 *Des occasions de ce genre, qui font concourir les gouvernements et les notabilités des diverses parties de la Suisse à des entreprises de véritable utilité publique, doivent resserrer le lien fédéral, et en faire toujours plus apprécier les avantages. Puisse l'arbre antique et sacré de la Confédération porter, avec la bénédiction divine, des fruits de plus en plus abondants de prospérité et d'amélioration morale et sociale! Ce sera la plus douce des récompenses pour ceux qui, s'abritant sous son ombre, auront contribué, en quelque manière, à ses heureux développements.* Gautier (1840), S. 161f.
- 29 *Sa brochure est bien intéressante et contient plusieurs détails qui n'étoient pas à ma connaissance. Je suis parfaitement de son avis, qu'il sera désirable avec le temps, de faire un supplément de ce Volume par rapport de ce qui concerne la triangulation secondaire de la Suisse et la position géographique des villes principales.* BAR, E27/22642, Bd. 4, 16.1.1841.
- 30 *C'est un manque de convenance et un oubli fâcheux des égards que se doivent les hommes dont la vie entière est consacrée à des travaux scientifiques, indépendants de toute rivalité nationale par leur nature et leur but. Je vous avoue avec toute ma franchise que cette injustice m'a vivement impressionné. C'est la première que j'éprouve de ce genre, et dans la partie de l'Allemagne où j'ai travaillé, l'on a été plus que juste à mon égard.* Delcros an Trechsel, 12.6.1841, zitiert nach Wolf (1879), S. 258f (Anm. 2).
- 31 Meyer von Knonau (1843), S. 329.
- 32 BAR, E27/20898. Diese Korrekturen betreffen aber keine Original-Beobachtungen, sondern nur fehlerhafte Ableitungen daraus wie zwei doppelt verwendete Dreiecke, ein falsches Azimut oder Rechnungsergebnisse wie Seitenlängen oder Logarithmen.
- 33 Wolf (1879), S. 259.
- 34 Zölly (1948), S. 57, Anm. 36. Unter dem «Korrektur-Exemplar der Eidg. Landestopographie» sind die in Anm. 32 referenzierten «Correcturen zu Eschmann's Ergebnissen durch Ingr. Bétemps» zu verstehen.
- 35 Gubler (2003).
- 36 Eschmann (1840), S. 67–86.
- 37 Der sphärische Exzess ist beim Kugeldreieck der Überschuss der Winkelsumme über 180°. Er ist zu dessen Flächeninhalt proportional.
- 38 Eschmann bildete pro Dreieck die Summe der drei Winkel und subtrahierte davon den sphärischen Exzess. Die Abweichung des Restbetrags von 180° ist der sogenannte Dreieckschlussfehler.
- 39 Diese Umformatierung wurde über die Skriptsprache awk unter Verwendung des Programms gawk.exe vollzogen.
- 40 Die Eingabedateien und die Resultate der Berechnungen sind unter www.kartengeschichte.ch/ch/54/ publiziert.
- 41 Auch nach intensiver Analyse der publizierten «Winkel der Triangulation erster Ordnung» (Eschmann [1840], S. 6–41) bleiben Unklarheiten, welche Messungen im «Dreiecksnetz der ersten Ordnung» (S. 67–86) tatsächlich verwendet wurden und ob alle «g» zuverlässig angegeben sind.
- 42 Eschmann (1840), S. 84, Dreieck Nr. 100.
- 43 Eschmann (1840), S. 41, Winkel Nr. 287 als Summe von 284 + 285 – 286.
- 44 Graf (1896), S. 37f.
- 45 BAR, E27 / 20897 enthält zwar ein Manuskript zu den *Opérations astronomiques et trigonométriques pour la carte de Suisse faites sous les ordres de Monsieur Dufour Quartier-Maître Général de la Confédération par J. Eschmann, lieutenant du génie fédéral*, aber es ist gegenüber der gedruckten Ausgabe unvollständig und weicht in wesentlichen Teilen davon ab.
- 46 Puissant (1832).
- 47 Hoefer, Bd. 41 (1852), S. 188f.
- 48 Puissant (1805).
- 49 Puissant (1807–1810).
- 50 Cassini de Thury (1783).
- 51 Zur *Carte de France*, insbesondere im Grenzabschnitt zur Schweiz, vgl. Rickenbacher (2011), S. 36–41.
- 52 Levallois (1988), S. 91; Berthaut 1 (1898), S. 186f.)
- 53 Levallois (1988), S. 97.
- 54 Méchain/Delambre (1806–1810).
- 55 Levallois (1988), S. 93.
- 56 Rickenbacher (2011), S. 176–185.
- 57 Puissant (1832), S. 174.
- 58 Die geographischen Koordinaten wurden mit dem online zugänglichen Transformationsprogramm REFRAME in Landeskordinaten LV03 (CH1903) umgerechnet.
- 59 Levallois (1988), S. 97. Die hier beschriebene Neuberechnung des Teilnetzes Ost mit einem handelsüblichen Computer benötigte eine Rechenzeit von etwa 0.8 Sekunden.
- 60 Emery/Ray/Ulrich (2013).
- 61 Méchain/Delambre (1806–1810).
- 62 Ris (1887), S. 363–366.
- 63 Wolf (1879), S. 240f.
- 64 Graf (1896), S. 20.
- 65 Eschmann (1840), S. 63–66.
- 66 Gubler (2011), S. 260–268.
- 67 Zölly (1948), S. 115, Abb. 91.
- 68 Schneider et al. (2015), Zeitstrahl auf S. 472f. Zur Geschichte der schweizerischen Landesvermessung vgl. «e-expo Schweizerische Landesvermessung» unter www.history-of-geodesy.ch

Dank

Die Autoren bedanken sich herzlich für Hinweise und Mithilfe bei: Bernard Bézes (IGN St-Mandé F), Adrian Böhlen (swisstopo), Patrick Flückiger (swisstopo), Odile Habran (Université Grenoble Alpes, Grenoble F), Urs Marti (swisstopo), Jean-Paul Miserez (Delémont) und Elias Raymann (swisstopo).

Adressen der Autoren

Martin Rickenbacher
Dr. phil. I, Dipl. Ing. ETH
Bundesamt für
Landestopografie swisstopo
Seftigenstrasse 264
CH-3084 Wabern
martin.rickenbacher@swisstopo.ch

Erich Gubler
Dr. h.c., Dipl. Ing. ETH
Flugplatzstrasse 19B
3122 Kehrsatz
erich_gubler@bluewin.ch